



Poszerzyć nauczanie biologii

MIECZYŚLAW CHORAŻY

Wszystko, co istnieje w poznanym dotychczas świecie, zbudowane jest z tych samych elementów fizycznych – atomów – wspólnych dla organizmów żywych i materii nieożywionej. Teza o powstaniu zjawiska życia poprzez jednorazowy akt twórczy nie jest akceptowana przez fizykę. Sądymy, że życie od około 4 miliardów lat rozwijało się z atomów poprzez formowanie, a następnie przez interakcje prostych cząsteczek chemicznych i makrocząsteczek. W procesie ewolucji powstało coraz więcej „części”, a relacje między nimi stawały się coraz bardziej złożone. W wyniku tych procesów powstały *złożone systemy biologiczne*.

Organizmy żywe są zorganizowane według *hierarchicznego* porządku. Idąc „od dołu”, czyli od najniższego poziomu, możemy odczytać następujący porządek hierarchiczny żywych organizmów wielokomórkowych: siły i cząstki subatomowe → atomy → cząsteczki chemiczne → sieci molekularne → komórki → narządy → organizmy → populacje organizmów → ekosystemy. Wyższy poziom ogranicza i „zniewala” poziom niższy. Wyższe poziomy hierarchicznego porządku mają nowe emergentne struktury i funkcje niewystępujące na poziomie niższym, dlatego też wyższe poziomy systemów złożonych nie mogą być w pełni *redukowalne* do poziomów niższych i ich części. Właściwości wyższych poziomów w systemach złożonych nie są w pełni przewidywalne, dlatego np. właściwości fenotypowe nie mogą być bezkrytycznie *dedukowane* na podstawie właściwości genotypowych.

Biologia ostatniego półwiecza interesowała się zasadniczo kwestią, z jakich cząsteczek chemicznych zbudowana jest komórka jako podstawowy element żywy, co po odkryciu struktury i funkcji DNA przed 62 laty doprowadziło do *genocentryzmu*, a następnie sprzyjało formułowaniu często bardzo uproszczonych poglądów na fenomen życia, na formę i funkcję żywych organizmów, w tym także człowieka. Paradoksalnie, badając fenomen życia metodą *redukcjonistyczną*, w pierwszej kolejności najczęściej niszczyliśmy zjawisko życia, bo zabijamy komórki, rozcierając je na homogenną masę.

Sądono, że pełna analiza sekwencji ludzkiego DNA (Human Genome Project) pozwoli odkryć geny, które są przyczyną chorób, co z kolei ułatwi diagnostykę i leczenie. Okazało się jednak, że tylko w niewielu chorobach można prześledzić prosty, przyczynowy związek z pojedynczym genem. Większość chorób ma przyczynę wieloczynnikową, a w ich patogenezie mają swój udział liczne uszkodzenia genetyczne, molekularne zaburzenia regulacyjne, środowisko, czynniki epigenetyczne itd.

Gromadzenie wiedzy o złożoności i hierarchicznej organizacji organizmów żywych, o zjawisku emergencji i roli inte-

rakcji cząsteczek chemicznych na podstawowym poziomie hierarchicznym, oraz konieczność szerszego i całościowego spojrzenia na zjawisko życia znalazły wyraz w powstaniu nowego działu biologii – *biologii systemów*. Biologia systemów twierdzi, że istota życia nie tkwi ani w cząsteczkach DNA, ani w białkach lub w innych makromolekułach, lecz we *współdziałaniu* oraz *interakcji* między nimi. Systemy, w których przebiegają wszelkie procesy biologiczne, są dynamiczne, plastyczne, wykazują oporność, ale i zdolności adaptacyjne, są wieloskalowe. Systemy biologiczne są zdolne do przechowywania i przekształcania informacji. Wraz ze wzrostem złożoności pojawiają się nowe struktury i właściwości zwane *emergentami*, których nie ma w częściach układu. Złożoność nie jest prostym sumowaniem części, a interakcje między nimi nie są liniowe – to znaczy, że między przyczyną a skutkiem nie ma zależności proporcjonalnej. Relacje między składnikami systemu opisywane są przez złożone algorytmy, są zwykle cykliczne i obfitują w sprzężenia zwrotne i redundantne kontrole dające odpór presji środowiska. Kanoniczna reguła wynikająca z podejścia redukcjonistycznego głosi, że *przyczynowość sprawcza* biegnie w kierunku „dół → góra”, to znaczy od poziomu bazalnego (gdzie „dokonuje się cała praca”) do poziomów wyższych. Przyczynowość sprawcza działa również w kierunku „góra → dół”, a także w obrębie samych poziomów hierarchicznych.

Nauka, w ostatnich paru dekadach, przypisuje zasadnicze znaczenie zjawisku *samoorganizacji* jako podstawowemu procesowi w powstaniu i ewolucji życia. Samoorganizacja występuje na różnych poziomach hierarchicznych i jest uważana za podstawowy czynnik w powstawaniu złożoności. Zjawisko *samoorganizacji*, powszechne w przyrodzie (np. skomplikowane struktury w komórce, insekty socjalne, ławice ryb itp.), jest badane i wykorzystywane w praktyce (nanotechnologie) przez człowieka. W tych przykładowych systemach nie działa żaden centralny czynnik lub ośrodek sterujący. Ośrodki takie są liczne, rozproszone po układzie, a ich działanie ujawnia się skoro tylko system znajdzie się w odpowiednich warunkach. Proces samoorganizacji zachodzi bez instrukcji od bodźca zewnętrznego i bez odniesienia do globalnego wzoru. Na poziomie molekularnym są to cząsteczki chemiczne, które oddziałują między sobą poprzez słabe wiązania chemiczne. *Samoorganizacja* jest spontanicznym tworzeniem ogólnego, spójnego porządku, który wyłania się (emergencja) z lokalnych informacji i interakcji między komponentami niższego poziomu. Samoorganizacja generuje niezwykłą kreatywność przyrody.

Na poziomie cząsteczkowym system biologiczny przedstawia niezwykle *złożoną sieć*, której strukturę i zależności funkcjonalne najlepiej ilustrują *grafy*. Wieloletnie badania

► z użyciem wielu wyrafinowanych metod pozwoliły na poznanie interakcji między tysiącami biologicznych cząsteczek i makrocząsteczek i zbudowanie ogromnych baz danych. Najwcześniejsze dane i pierwowzory sieci uzyskano w wyniku badań nad reakcjami metabolicznymi w organizmach żywych.

Do znalezienia praw i reguł rządzących takimi złożonymi systemami włączono różne nauki, zwłaszcza matematykę, bioinformatykę oraz komputery wielkiej wydajności. Budowane są modele ilustrujące strukturę i funkcję sieci w rozmaitych warunkach. Modele te są następnie sprawdzane doświadczalnie. Obecnie poznane są już pewne prawidłowości w strukturze sieci, poznano podsieci oraz struktury i funkcje najczęściej spotykanych motywów, które spełniają podstawowe funkcje kontrolne.

Przed biologią stoi wielkie wyzwanie poznania złożoności zjawiska życia. Tymczasem w polskich programach studiów biologicznych i medycznych na zjawisko życia patrzy się stale jeszcze w sposób zawężony, a czasami bardzo uproszczony. Sądzę, że już najwyższy czas, by w programach nauczania znalazło się miejsce na dyskusję o elementach biologii systemów.

Dobrze się stało, że Wydział Matematyki Uniwersytetu Warszawskiego podjął się trudu zorganizowania zaawansowanych studiów stacjonarnych w zakresie bioinformatyki i biologii systemów. Pozwoli to na zasilenie naszych ośrodków naukowych badaczami, którzy zmierzają się w przyszłości z podstawowymi problemami nowego rozdziału w biologii.

MIECZYŚLAW CHORAŹY

Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie,
Oddział w Gliwicach

Jak oceniać dorobek naukowy osób pracujących w dużych zespołach badawczych?

TADEUSZ LESIAK

Proces tworzenia coraz bardziej złożonych kryteriów ocen dorobku naukowego i osiągnięć uczonych wykazuje, zwłaszcza w ostatnich latach, znaczną dynamikę. Jedną z jego cech jest dążenie do ujednoczenia kryteriów oceny, choćby w ramach poszczególnych dziedzin nauki. Tendencja ta dotyczy także fizyki, mimo że każda gałąź fizyki charakteryzuje się własną specyfiką prowadzenia badań oraz ich publikowania. Procedura dokonywania oceny powinna zatem, przynajmniej w pewnym stopniu, uwzględniać swoiste aspekty tematyki badań osoby podlegającej opiniowaniu. Jedną z form odpowiedzi na tę potrzebę jest list, opracowany w 2015 roku przez Europejski Komitet ds. Przyszłych Akceleratorów (ECFA – European Committee for Future Accelerators) oraz Sekcję Fizyki Wysokiej Energii Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (ECFA/HEPP-EPS – High Energy Particle Physics Board, European Physical Society). Nosi on tytuł „Memorandum on the Evaluation of Experimental Particle Physicists”. Jest dostępny na stronie internetowej: <http://cds.cern.ch/record/2014643?ln=en>.

Celem tego dokumentu jest zasugerowanie właściwych kryteriów opiniowania, a tym samym ułatwienie dokonania bardziej obiektywnej oceny dorobku naukowego i osiągnięć uczonych zajmujących się fizyką cząstek elementarnych. Najważniejsze myśli zawarte w liście zostaną omówione poniżej, w przekonaniu, iż tezy tego tekstu mogą być bardzo użyteczne dla licznego grona recenzentów, zwłaszcza tych, którzy nie mają bezpośrednich doświadczeń związanych z pracą w dużych zespołach badawczych.

Dokument ECFA/HEPP-EPS zwraca w pierwszym rzędzie uwagę na fakt, iż w ostatnich latach nastąpił bardzo silny wzrost liczebności zespołów naukowych, a tym samym – długości list autorów publikacji. Siłą rzeczy zatem, te ostatnie są sporządzane w porządku alfabetycznym według nazwisk autorów, bądź nawet według nazw laboratoriów wnoszących wkład do publikacji. Zjawisko to zaznacza się nie tylko w fizyce cząstek elementarnych, ale i w innych gałęziach fizyki, np. fizyce jądrowej oraz biofizyce i astronomii. Członkowie dużych zespołów badawczych są zatem najczęściej autorami bardzo dużej liczby prac opatrzonych niemal identyczną, długą listą autorów. Rodzi to naturalne kontrowersje w procesie opiniowania i niejednokrotnie stwarza trudności choćby przy porównywaniu dorobku naukowców z różnych dziedzin fizyki.

Dokument ECFA/HEPP-EPS przedstawia rekomendacje pozwalające na realistyczną ocenę dorobku fizyka cząstek elementarnych. Zalecenia te zostały podzielone na dwie kategorie. Pierwsza podaje informacje istotne dla recenzentów, zwłaszcza wywodzących się spoza fizyki cząstek elementarnych. Na omówieniu tych właśnie rekomendacji koncentruje się tekst tego artykułu. Druga część listu ECFA/HEP-EPS zawiera konkretne, szczegółowe uwagi, dotyczące sposobu przedstawiania informacji o własnym dorobku badawczym. Są one adresowane do osób pracujących w dużych zespołach badawczych.

Można się z nimi zapoznać szczegółowo w oryginalnym tekście tego dokumentu. ►